

Pengaruh *Nozzle Temperature* Dan *Layer Height* Terhadap Akurasi Dimensi Produk Ulir Menggunakan Filamen PETG

Zulfitriyanto¹, Sherin Ferninda Putri¹, Pristiansyah^{1*}

¹Politeknik Manufaktur Negeri Baangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : pristiansyah@polman-babel.ac.id

Received:9 Januari 2025; Received in revised form:15 Januari 2025; Accepted:15 Januari 2025

Abstract

This study examines the effect of nozzle temperature and layer height on the dimensional accuracy of threaded products using Fused Deposition Modeling (FDM) technology with PETG filament material. Experiments were conducted using Taguchi method with L9 factorial design and three repetitions. The parameters tested included nozzle temperature (235°C, 240°C, 250°C) and layer height (0.10 mm, 0.15 mm, 0.20 mm) variations, with a constant print speed of 40 mm/s. The test specimen was a M16×2 6g thread with a height of 20 mm. The results show that layer height has a more significant effect than nozzle temperature on dimensional accuracy. Optimal diameter dimensional accuracy was achieved at a combination of nozzle temperature 240°C and layer height 0.15 mm with an average diameter of 15.82 mm, while optimal height dimensional accuracy was obtained at a combination of nozzle temperature 240°C and layer height 0.10 mm with an average height of 20.01 mm. This research contributes to the optimization of 3D printing process parameters for threaded products.

Keywords: 3D printing; Dimensional accuracy; FDM; PETG; Taguchi method.

Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengaruh nozzle temperature dan layer height terhadap akurasi dimensi produk ulir menggunakan teknologi Fused Deposition Modeling (FDM) dengan material filamen PETG. Eksperimen dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan desain faktorial L9 dan tiga kali pengulangan. Parameter yang diuji meliputi variasi nozzle temperature (235°C, 240°C, 250°C) dan layer height (0,10 mm, 0,15 mm, 0,20 mm), dengan print speed konstan 40 mm/s. Spesimen uji berupa ulir M16×2 6g dengan tinggi 20 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa layer height memiliki pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan nozzle temperature terhadap akurasi dimensi. Akurasi dimensi diameter optimal dicapai pada kombinasi nozzle temperature 240°C dan layer height 0,15 mm dengan rata-rata diameter 15,82 mm, sedangkan akurasi dimensi tinggi optimal diperoleh pada kombinasi nozzle temperature 240°C dan layer height 0,10 mm dengan rata-rata tinggi 20,01 mm. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam optimasi parameter proses pencetakan 3D untuk produk ulir.

Kata kunci: 3D printing; Akurasi dimensi; FDM; PETG; Metode taguchi.

1. PENDAHULUAN

Manufaktur aditif, yang lebih dikenal dengan istilah pencetakan tiga dimensi (3D printing), merupakan inovasi teknologi yang relatif baru dalam dunia manufaktur, teknologi ini menggunakan model digital yang dirancang melalui *Computer Aided Design* (CAD) untuk menciptakan objek tiga dimensi dengan metode berlapis. Prosesnya melibatkan penambahan material secara bertahap, layer per layer, yang

memungkinkan pembuatan produk dengan detail dan pola yang kompleks. Dalam implementasinya, sistem *Fused Deposition Modeling* (FDM) menjadi pilihan populer karena kemudahan pengoperasiannya. Sistem FDM ini tidak hanya dimanfaatkan untuk pengujian produk 3D, tetapi juga berperan penting dalam *rapid prototyping* dengan menggunakan material berbasis polimer untuk menghasilkan prototipe produk [1] [2].

Inovasi dalam bidang manufaktur aditif, khususnya teknologi pencetakan 3D, telah membawa terobosan dalam cara memproduksi berbagai komponen mekanis, termasuk produk ulir berupa baut. Sebagai komponen fundamental dalam sistem konstruksi dan perakitan, baut umumnya diproduksi melalui teknik konvensional seperti pemesian dan pengecoran, kini memiliki alternatif metode produksi baru. Dalam aplikasinya, seperti pada baut oli *gearbox*, terdapat tantangan khusus yang perlu diatasi. Vibrasi yang berasal dari operasional mesin dan motor dapat mengakibatkan kendurnya sambungan baut secara tiba-tiba. Situasi ini tidak hanya beresiko menyebabkan kerusakan mesin tetapi juga membahayakan aspek keselamatan. Faktor keamanan dan kemungkinan terjadinya pelonggaran pada sambungan memiliki korelasi yang kuat dengan tingkat ketepatan dan ketelitian dalam proses manufaktur baut tersebut [3].

Meskipun teknologi pencetakan 3D menawarkan kemudahan dalam produksi, komponen dengan detail rumit dan geometri menjorok seperti ulir masih menunjukkan kualitas dimensi yang lebih rendah dibandingkan metode manufaktur konvensional seperti *rolling* atau *machining*. Kendati keterbatasan kualitas dimensi tersebut, banyak produsen tetap memilih FDM untuk memproduksi komponen berulir. Di sisi lain, beberapa akademisi menyoroti potensi manufaktur aditif dalam menghasilkan struktur yang lebih optimal melalui pendekatan seperti optimasi topologi [4].

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh [5] tentang optimasi parameter 3D *printing* dengan material PLA, kombinasi parameter yang optimal untuk menghasilkan lubang berdiameter 20 mm yang akurat meliputi: *nozzle temperature* (200°C), *bed temperature* (62°C), *room temperature* (34°C), *infill percentage* (40%), *layer height* (0,25 mm), dan *print speed* (20mm/s). Hasil penelitian tersebut menggunakan metode Taguchi yang dalam analisis data terbukti efektif dalam meminimalkan deviasi dari nilai target, sehingga menghasilkan kualitas produk yang optimal.

Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh [6] hasil eksperimen dan pengolahan data menggunakan metode Taguchi, ditemukan bahwa tiga parameter utama yang mempengaruhi ketepatan dimensi pada hasil cetakan 3D dengan material eSteel. Sudut raster memberikan pengaruh terbesar dengan kontribusi (32,09%) diikuti oleh *extrude temperature* (31,72%), dan *layer height*

(25,53%). Penelitian ini mengungkapkan bahwa untuk mencapai presisi dimensi optimal, diperlukan pengaturan parameter proses yang terdiri dari: *extrude temperature* (220°C), *layer height* (0,3 mm), dan *raster angle* (0°/90°).

Penelitian yang telah diteliti oleh [7] meneliti akurasi dimensi pada mesin cetak 3D jenis FDM dengan menggunakan material PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*). Melalui analisis metode Taguchi L_{27} *Orthogonal Array*, ditemukan kombinasi parameter optimal yang mempengaruhi ketinggian spesimen, yaitu: *nozzle temperature* (235), *bed temperature* (100), *infill density* (25%), *infill overlap* (10%), *print speed* (40 mm/s), dan *flowrate* (90%).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap akurasi dimensi hasil cetak 3D produk ulir serta mendapatkan parameter optimal menggunakan filamen PETG. Metode taguchi digunakan untuk mendukung penelitian dalam analisis data untuk mencapai hasil yang baik [8]. Pada metode Taguchi terdapat tiga karakteristik kualitas dalam analisisnya: karakteristik "*large is better*" dimana semakin besar nilai maka semakin baik, "*normal is best*" dimana nilai tertentu dianggap yang terbaik, dan "*small is better*" dimana semakin kecil nilai maka semakin baik [9]. Software Minitab dengan metode Taguchi-nya menawarkan pendekatan sistematis untuk mengcopyimalkan proses 3D *printing*. Melalui analisis hubungan variabel, metode ini membantu menemukan parameter terbaik untuk menghasilkan kualitas cetak optimal [10] [11].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengkaji pengaruh parameter 3D *printing* terhadap akurasi dimensi produk ulir menggunakan printer 3D tipe FDM. Parameter yang diteliti mencakup variasi *nozzle temperature* dan *layer height*, yang diatur melalui *software* cetak 3D. Menggunakan metode Taguchi dengan desain faktorial L_9 dan tiga kali pengulangan, sehingga hasil pengujian lebih akurat. Penelitian ini menggunakan filamen PETG dengan spesifikasi sebagai berikut,

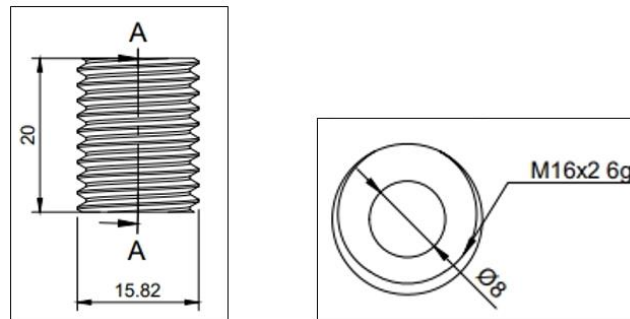
1. Filament Diameter sepanjang 1,75 mm
2. Print Temperature sebesar 230-250°C
3. Print Bed Temperature sebesar 40-50°C
4. Hot Bed Temperature sebesar >100°C
5. Roundness Tolerance sepanjang 0,01-0,02 mm

6. Infill Speed sebesar 20-50 mm/s
7. Net Weight sebesar 1 kg/roll

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang dilakukan pada mesin 3D *printing* FDM model Creality Ender 3 Pro dengan dimensi 220 mm × 220 mm ×

250 mm dan menggunakan *nozzle* berukuran 0,2 mm. Material yang digunakan adalah filamen PETG dengan diameter 1,75 mm. Spesimen uji memiliki dimensi objek M16×2 6g dan tinggi spesimen 20 mm yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk dan Ukuran Spesimen

2.2. Metode yang Digunakan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Taguchi yaitu pada tahap ini akan dilakukan proses pencetakan 9 spesimen berdasarkan desain faktorial kemudian dilakukan pengujian akurasi dimensi untuk mengetahui keakuratan dimensi yang sesuai dengan ukuran produk ulir pada *software*.
2. Data yang diperoleh dari pengujian akurasi dimensi akan diolah dan dievaluasi menggunakan tabel untuk analisis yang sistematis.
3. Hasil analisis data akan ditentukan nilai parameter yang mendekati nilai sebenarnya untuk setiap variabel yang telah diuji.

2.3. Alat dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin 3D Printer model Creality Ender 3 Pro tipe FDM dengan *printing area* XYZ 220 mm × 220 mm × 250 mm.
2. Material Filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) merupakan pengembangan dari material PET. Penambahan unsur glikol pada PETG berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas dan memperbaiki karakteristik pencetakan material. Material filamen PETG yang digunakan dalam 3D *printing* memiliki diameter 1,75 mm dan dapat diproses pada rentang suhu 230-250°C.

3. *Software* Creality Slicer merupakan *software* pengolah model 3D yang dirancang khusus untuk printer 3D merek Creality. Program ini berfungsi untuk mengatur berbagai parameter 3D *printing* dan mengkonversi model menjadi format *gcode* yang dapat dibaca oleh printer.
4. Dalam penelitian ini digunakan laptop HP 14-dk1005nia yang berfungsi untuk tiga keperluan utama: menjalankan CAD untuk menghasilkan file format STL, melakukan pengaturan parameter pencetakan 3D melalui *software* Creality Slicer, serta melakukan pengolahan dan analisis data hasil pengujian.
5. *Software* Minitab 19 dimanfaatkan untuk merancang eksperimen (DoE) dengan menentukan berbagai parameter dan faktor yang berpotensi memengaruhi variabel penelitian. Selain itu, *software* ini juga digunakan untuk mengolah dan menganalisis data hasil pengujian.
6. Jangka sorong digital dengan ketelitian 0,01 mm yang digunakan untuk pengujian akurasi dimensi pada spesimen yang selesai dicetak.

2.4. Penentuan Parameter Proses

Tahap ini merupakan langkah untuk menetapkan variabel-variabel proses, yang mencakup penentuan faktor-faktor yang akan diteliti beserta tingkatan pengujian yang akan diimplementasikan dalam penelitian tersebut. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *nozzle temperature* dan *layer height* serta *print speed* dengan nilai konstan. Nilai level dan parameter proses yang diuji ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Level Dan Parameter Proses

Faktor	Parameter Proses	Level		
		1	2	3
A	<i>Nozzel Temperature</i>	235	240	250
B	<i>Layer Height</i>	0,10	0,15	0,20
C	<i>Print Speed</i>	40	40	40

Setelah menetapkan nilai level dan parameter proses, tahap berikutnya adalah merancang desain eksperimen faktorial dengan menggunakan metode Taguchi L_9 *Orthogonal Array* (OA), dimana perancangan ini dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 19.

2.5. Desain Eksperimen

Dalam melakukan eksperimen yang terencana (*Design of Experiment*), desain faktorial merupakan metode yang memungkinkan peneliti untuk mempelajari

dampak dari beberapa faktor (minimal dua) terhadap suatu hasil atau respon. Untuk menghasilkan spesimen uji yang sistematis, penelitian ini menggunakan kombinasi *Orthogonal Array* (OA) dan metode Taguchi L_9 dengan konfigurasi dua faktor dan tiga level. Parameter-parameter tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software* Minitab 19 untuk menghasilkan desain faktorial. Hasil desain yang ditunjukkan dalam Tabel 3. memuat kombinasi angka dan huruf yang selanjutnya akan diinterpretasikan sebagai variabel proses dengan nilai level tertentu seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Rancangan Desain Eksperimen

No Eks.	A	B	C
1.	1	1	1
2.	1	2	1
3.	1	3	1
4.	2	1	1
5.	2	2	1
6.	2	3	1
7.	3	1	1
8.	3	2	1
9.	3	3	1

2.6. Pembuatan Spesimen

Spesimen didesain menggunakan *software* Autodesk Fusion 360 berbentuk tabung dengan ulir dibagian luar yang memiliki ukuran M16×2 6g dan tinggi 20 mm. Kemudian hasil desain tersebut akan diekspor ke format STL sehingga dapat dibaca oleh aplikasi *licer*. Pembuatan *gcode* dengan memasukkan file STL ke *software slicer* yang secara otomatis mengubah model CAD

menjadi bahasa pemrograman 3D *printing* sesuai dengan desain faktorial yang sudah ditentukan. Parameter yang sudah ditentukan dapat di-setting pada *software slicer* sesuai dengan yang telah ditentukan. *Gcode* yang dihasilkan oleh *software slicer* selanjutnya akan di-input ke mesin 3D *printing* menggunakan *micro sd card*. Secara otomatis mesin 3D *printing* akan mencetak spesimen berurutan sesuai dengan desain dan parameter proses yang telah dimasukkan. Hasil cetak spesimen ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Cetak Spesimen Pengujian Specimen

Proses pengujian specimen yang dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa jangka sorong digital. Pengujian dilakukan dengan mengukur diameter luar dan tinggi pada specimen berurutan sesuai dengan nomor eksperimen. Setelah pengujian selesai dilakukan, data yang didapatkan akan dianalisis untuk mendapatkan hasil akhir dengan menggunakan *software* analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data dari pengujian akurasi dimensi diperoleh dari pengambilan data dan pengujian sampel yang telah dilakukan perhitungan rata-rata, ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Uji Akurasi Dimensi Diameter Dan Tinggi Specimen

No Eks.	Nozzle Temperature (°C)	Layer Height (mm)	Print Speed (mm/s)	Rata-rata Diameter (mm)	Rata-Rata Tinggi (mm)
1.	235	0,10	40	15.71	20.11
2.	235	0,15	40	15.76	20.03
3.	235	0,20	40	15.81	20.03
4.	240	0,10	40	15.68	20.01
5.	240	0,15	40	15.82	20.04
6.	240	0,20	40	15.81	20.08
7.	250	0,10	40	15.76	20.11
8.	250	0,15	40	15.81	20.24
9.	250	0,20	40	15.87	20.19

Tabel 3 menampilkan nilai rata-rata dari pengujian akurasi dimensi yang memperlihatkan adanya keragaman dan perbedaan hasil pengujian. Setiap kombinasi parameter proses yang berbeda menghasilkan nilai akurasi dimensi yang bervariasi.

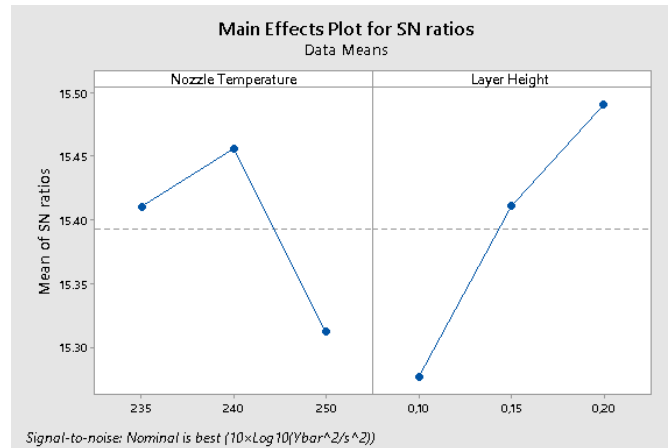
Akurasi dimensi diameter paling optimum dicapai pada specimen dengan desain faktorial L₉, menggunakan kombinasi parameter: *nozzle temperature* (240°C) dan *layer height* (0,15 mm) yang menghasilkan rata-rata diameter 15,82 mm. Untuk hasil akurasi dimensi tinggi paling optimum dicapai pada specimen dengan desain faktorial L₉, menggunakan kombinasi parameter: *nozzle temperature* (240°C) dan *layer height* (0,10 m) yang menghasilkan rata-rata tinggi 20,01 mm.

3.1. Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Analisis data pengujian dilakukan menggunakan metode Taguchi untuk menentukan parameter proses yang optimal dan signifikan terhadap hasil uji akurasi dimensi. Proses pengolahan data menggunakan *software* Minitab 19 untuk menghasilkan grafik S/N Ratio.

3.2. S/N Ratio

Berdasarkan Gambar 3 parameter proses optimal pada penelitian ini terhadap akurasi dimensi adalah *layer height* (0,20 mm), dan *nozzle temperature* (240°C).



Gambar 3. Grafik Mean Plot S/N Ratio

Berdasarkan data Tabel 4, *layer height* merupakan parameter yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap akurasi dimensi produk cetak 3D, karena parameter

ini mempengaruhi bentuk dan dimensi akhir produk.

Tabel 5. S/N Ratio Diameter Dan Tinggi Spesimen

Level	Nozzle Temperature	Layer Height
1	15,41	15,28
2	15,46	15,41
3	15,31	15,49
Delta	0,14	0,21
Rank	2	1

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa *layer height* memiliki pengaruh paling signifikan terhadap akurasi dimensi produk ulir dalam proses 3d *printing* dibandingkan dengan parameter *nozzle temperature*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi dimensi diameter optimal diperoleh pada spesimen dengan desain faktorial L_9 , menggunakan kombinasi parameter: *nozzle temperature* (240°C) dan *layer height* (0,15 mm), yang menghasilkan rata-rata diameter 15,82 mm. Sedangkan, untuk hasil pengujian akurasi dimensi tinggi optimal diperoleh pada spesimen dengan desain faktorial L_9 , menggunakan kombinasi parameter: *nozzle temperature* (240°C) dan *layer height* (0,10 mm) yang menghasilkan rata-rata tinggi 20,01 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan penulis kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah menyediakan dukungan dan fasilitas yang diperlukan dalam pelaksanaan pengujian dan publikasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Fadhil, Hasdiansah and A. Anggry, "Optimasi Parameter Produk 3D Printing Terhadap Kekuatan Bending Dengan Menggunakan Filamen Nylon," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 01, pp. 1-8, 2023.
- [2] W. R. Saputra, Z. S. Suzen and Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses terhadap Kuat Tarik Produk Hasil 3d Printing Menggunakan Filamen ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate)," *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 73-78, 2023.
- [3] N. Ranjan, "Dimensional and roughness analysis of ABS polymer-based 3D printed nuts and bolts," *Materials Today: Proceedings*, vol. 48, pp. 1604-1608, 2022.
- [4] S. A. Tronvoll, C. W. E. Elverum and T. Welo, "Dimensional accuracy of threads manufactured by fused deposition modeling," *Procedia Manufacturing* 26, pp. 763-773, 2018.

- [5] M. B. Wicaksono and F. K. A. Nugraha, "Optimization of 3D Printing Parameters Using the Taguchi Method to Improve Dimensional Precision," *Jurnal Teknologi*, vol. 12, pp. 72-77, 2022.
- [6] M. Darsin, N. C. A. Mahardika, G. Jatisukanto, M. E. Ramadhan, B. A. Fachri and M. S. Hussin, "Effect of 3D Printing Parameter on Dimensional Accuracy Using Esteel Filament," *Journal of 3D Printing and Additive Manufacturing*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [7] M. Lestari, Subkhan and Pristiansyah, "Optimasi Parameter Proses 3D Printing Terhadap Akurasi Dimensi Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)," *Prosiding: Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 361-367, 2022.
- [8] B. Aji, Y. F. Ariyani and Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Filamen PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol)," *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 01, no. 2, pp. 332-338, 2023.
- [9] Hartati and Ernawati, "Aplikasi Metode Taguchi Dalam Pengendalian Kualitas Produksi," *Jurnal Teknosains*, vol. 8, no. 2, pp. 185-194, 2014.
- [10] S. M. Pardomuan Robinson Sihombing and S. M. M. Ade Marsinta Arsani, *Aplikasi Minitab Untuk Statistisi Pemula*, I. Lubis, Ed., Depok, Jawa Barat: Penerbit Gemala, 2022.
- [11] A. Muhfarrih and K. Nadliroh, "Aplikasi Metode Taguchi-Grey untuk Optimasi Multirespon pada Pembubutan Aluminium," *Seminar Nasional Multidisiplin*, vol. 2, no. 1, pp. 283-290, 2019.